

0-792001

На правах рукописи



ХАЯРОВА ДИНАРА РАФАЭЛЕВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ И УДАЛЕНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН НА ПОЗДНЕЙ
СТАДИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность 25.00.17 – Разработка и эксплуатация
нефтяных и газовых месторождений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бугульма – 2011

Работа выполнена в Альметьевском государственном нефтяном институте

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Гуськова Ирина Алексеевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Мусабиров Мунавир Хадеевич
кандидат технических наук
Дубинский Геннадий Семенович

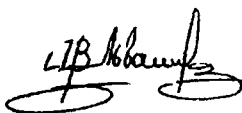
Ведущая организация: Открытое акционерное общество
«Белкамнефть»

Защита диссертации состоится 9 февраля 2012 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 222.018.01 в Татарском научно-исследовательском и проектном институте нефти (ТатНИПИнефть) ОАО «Татнефть» по адресу: 423236, Республика Татарстан, г. Бугульма, ул. М. Джалиля, д.32.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института ТатНИПИнефть.

Автореферат разослан «30» декабря 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000689837

И.Б. Львова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для эксплуатации скважин на поздней стадии разработки нефтяных месторождений характерно одновременное проявление ряда осложнений, в том числе коррозии нефтепромыслового оборудования, формирования солеотложений и органических отложений.

К настоящему времени на Ромашкинском месторождении добыто 85 % от начальных извлекаемых запасов нефти. С начала разработки среднесуточный дебит нефти снизился более чем в 11 раз, а обводненность продукции скважин увеличилась с 27 до 86 %. Эксплуатационные затраты на тонну добытой нефти существенно зависят от степени выработанности месторождения. При изменении степени выработанности Ромашкинского месторождения от 30 % до 90 % эксплуатационные затраты на тонну добытой нефти выросли в 9,6 раза. В этих условиях приоритет должен быть отдан технологиям, обеспечивающим одновременное решение комплекса проблем при добыче нефти.

Анализ работ, посвященных изучению механизма формирования органических отложений, показал, что проблема формирования органических отложений на поверхностях с температурой, равной температуре газоводонефтяного потока, т.е. в отсутствии перепада температур, ранее практически не рассматривалась. Кроме этого, существующие методы исследования предполагают изменение первичного компонентного состава и агрегатного состояния органических отложений, то есть их структуры. Учитывая значительное количество текущих ремонтов скважин, обусловленных формированием органических отложений на поверхности штанг, в области насосного оборудования, т.е. в условиях отсутствия перепада температур, необходимы дальнейшие исследования в данной области.

Существующие методики оценки эффективности применения составов для удаления органических отложений основаны на проведении пробоподготовки, предусматривающей механическое смятие или плавление органических отложений, что оказывает значительное влияние на результаты оценки их эффективности. Необходимо разработка методики, обеспечивающей объективную оценку эффективности составов для удаления органических отложений.

Применение защитных покрытий нефтепромыслового оборудования при эксплуатации нефтяных скважин обеспечивает одновременное решение проблем коррозии

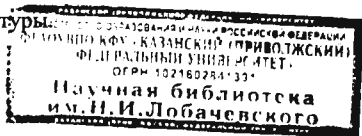
нефтепромыслового оборудования, формирования органических отложений, уменьшения гидравлических сопротивлений, улучшения теплового режима работы скважины. Опубликованы результаты многочисленных исследований различных параметров, характеризующих эксплуатационную стойкость современных систем покрытий и материалов, применяемых для защиты нефтепромыслового оборудования от коррозии, однако такая характеристика, как стойкость к формированию органических отложений, требует дальнейших исследований. В связи с этим на поздней стадии разработки особую актуальность приобретает изучение условий эффективного применения защитных покрытий нефтепромыслового оборудования при добыче парафинистой нефти и появлении осложнений, обусловленных формированием органических отложений.

Водные растворы ПАВ широко применяются для выполнения промывок скважин при проведении подземных ремонтов, повышения нефтеотдачи пластов и улучшения фильтрационно-емкостных характеристик призабойной зоны пластов добывающих и нагнетательных скважин, ингибирования органических отложений. Учитывая рост эксплуатационных затрат на добычу нефти, а также то, что технологические операции с применением водных растворов ПАВ являются обязательными элементами значительной части технологий эксплуатации и ремонта скважин, необходимы дальнейшие исследования по оценке условий эффективного удаления органических отложений водными растворами ПАВ при их проведении.

Целью диссертационной работы является исследование процессов формирования и удаления органических отложений при реализации технологий, обеспечивающих комплексное решение проблем эксплуатации скважин на поздней стадии разработки нефтяных месторождений.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **основные задачи**:

1. Анализ результатов исследований процессов формирования органических отложений и современного состояния развития методов их предупреждения и удаления.
2. Исследование влияния перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования на процесс формирования органических отложений.
3. Разработка методики оценки эффективности применения составов для удаления органических отложений с учетом их структуры



4. Исследование эффективности применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений. Оценка влияния различных факторов на эффективность удаления органических отложений с поверхности систем покрытий и материалов.

Методы решения поставленных задач. Решение поставленных задач производилось на основе теоретических, лабораторных и промысловых исследований с использованием современных методов обработки исходной информации и анализа результатов.

Научная новизна

1. Установлено, что наличие перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования не является обязательным фактором, определяющим формирование органических отложений на поверхности нефтепромыслового оборудования. Показано, что при отсутствии перепада температур между поверхностью и потоком жидкости существенное влияние на формирование органических отложений оказывает природа поверхности.

2. На основе анализа состава более 80 промысловых проб органических отложений, сформировавшихся на поверхности глубиннонасосного оборудования скважин в условиях наличия и отсутствия перепада температур, установлено, что, в среднем, содержание парафина при формировании органических отложений в отсутствии перепада температур превышает на 8,7 % содержание парафина в составе проб органических отложений, сформировавшихся при наличии перепада температур. При проведении экспериментальных исследований в условиях отсутствия и наличия перепада температур (от 0 до 25 °С) установлено уменьшение адгезионной прочности органических отложений при увеличении перепада температур между потоком жидкости и поверхностью глубиннонасосного оборудования скважин.

3. Разработана методика определения эффективности составов для удаления органических отложений с учетом их структуры. Показано, что изменение структуры органических отложений оказывает существенное влияние на достоверность результатов экспериментальных исследований.

4. На основе теоретических и экспериментальных исследований установлены факторы, определяющие эффективность разрушения органических отложений водными растворами ПАВ. С использованием методов математической статистики показано, что на эффективность удаления органических отложений оказывает влияние

увеличение времени контакта отложений с водными растворами ПАВ вне зависимости от их концентрации в исследуемом диапазоне времени (30-90 минут) и концентрации (0,1-1 % об.).

5. Количественно оценено влияние термодинамических факторов на эффективность удаления органических отложений различной структуры с поверхности систем защитных покрытий. В зависимости от типа покрытия скорость удаления органических отложений с поверхности защитных покрытий увеличивается, в среднем, на 40 % независимо от типа промывочной жидкости. На основе проведения многофакторного дисперсионного анализа результатов исследований установлено существенное влияние температуры промывочной жидкости на эффективность удаления органических отложений с поверхности систем защитных покрытий. Показано, что увеличение температуры промывочного состава от 32 °С до 70 °С обуславливает повышение эффективности удаления органических отложений в зависимости от вида покрытия (минимальное повышение – 20,8 %, максимальное – 35,6 %).

Основные защищаемые положения

1. Результаты теоретических, экспериментальных и промышленных исследований по оценке влияния перепада температур между потоком жидкости и поверхностью глубиннонасосного оборудования на формирование органических отложений при эксплуатации скважин, оборудованных ИШНУ.

2. Методика оценки эффективности удаления органических отложений с поверхности нефтепромыслового оборудования в технологических процессах эксплуатации и ремонта скважин с учетом структуры отложений.

3. Обоснование применения методов предупреждения и удаления органических отложений, обеспечивающих комплексное решение проблем эксплуатации скважин на поздней стадии разработки нефтяных месторождений.

Практическая ценность и реализация работы

1. Обоснована и разработана методика оценки эффективности составов для удаления органических отложений, учитывающая их структуру и свойства контактирующей поверхности. Методика защищена патентом РФ № 2429344 на изобретение.

2. Выявлены оптимальные для технологического воздействия интервалы температур и концентраций для ряда составов промывочных жидкостей, определяющие максимум их отмывающей и диспергирующей способности по отношению к органическим от-

ложениям. Максимальная эффективность удаления органических отложений (94%) получена при использовании водного раствора АФ₉-12 и защитного покрытия Scotchkote 6171. Отмечено также, что увеличение времени воздействия положительно сказывается на эффективности удаления отложений.

3. На основании результатов исследований разработаны рабочие программы, учебно-методические комплексы, учебные пособия и методические указания для проведения практических занятий и выполнения контрольных работ по дисциплинам «Осложнения в нефтедобыче», «Эксплуатация нефтяных и газовых скважин» для студентов всех форм обучения специальности 130503.65 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Альметьевского государственного нефтяного института.

4. Результаты исследования эффективности применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений использовались при выполнении работ по договору № 1-11 с ОАО «Татнефть» от 01.03.2011 г. «Анализ эффективности применения технологий с использованием промывочных растворов на водной основе в процессах эксплуатации скважин и разработка рекомендаций по выбору оптимальных составов».

5. На основе результатов исследования факторов, оказывающих влияние на удаление органических отложений с поверхности систем покрытий и материалов, разработаны и представлены в ОАО «Татнефть» рекомендации, изложенные в отчете по договору № 12-09 от 01.01.2010 г. «Анализ влияния различных факторов на эксплуатационные свойства защитных покрытий оборудования в системе подготовки парафинистой нефти на поздней стадии разработки».

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: IV Международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт-2008» (г. Уфа, 2008 г.); III научной конференции «Промышленная экология и безопасность» (г. Казань, 2008 г.); X Международной научной конференции «Севергеозкотех-2009» (г. Ухта, 2009 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов» (г. Казань, 2009 г.); VIII Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губ-

кина, «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России» (г. Москва, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Ашировские чтения» (г. Туапсе, 2010 г.); семинаре молодых специалистов ОАО «Татнефть» секции «Геология, разработка нефтяных и газовых месторождений» (г. Казань, 2011 г.).

Публикации результатов

По теме диссертации опубликована 21 печатная работа, в том числе 1 патент РФ на изобретение, 3 статьи из списка рецензируемых научных журналов ВАК Минобрнауки РФ, рекомендованных для опубликования результатов исследования, материалы 15 докладов и тезисы 2 докладов в трудах международных, российских и региональных конференций.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, библиографического списка из 223 наименований. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 23 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна и основные защищаемые положения, практическое значение и апробация работы.

Первая глава посвящена аналитическому обзору существующих представлений об условиях и механизме формирования органических отложений, а также методов борьбы с ними. Основы этих исследований были заложены такими учеными, как Р.А.Абдуллин, А.А. Абрамзон, Л.Ф.Волков, П.П.Галонский, Ф.С.Гарифуллин, В.Н.Глуценко, Я.М.Каган, С.Ф.Люшин, Б.А.Мазепа, Р.А.Максотов, А.Х.Мирзаджанзаде, В.Ф.Нежевенко, Н.Н.Непримеров, В.А.Рагулин, В.А.Рассказов, Б.М.Сучков, В.П.Тронов, З.А.Хабибуллин, Ю.В.Шамрай, Д.М.Шейх-Али и др.

В результате проведения теоретических исследований и анализа геолого-промысловой информации была выявлена необходимость изучения факторов, оказывающих влияние на формирование органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между газоводонефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования скважин, эксплуатируемых ШГН (на поверхности штанг и насосного оборудования).

Учитывая, что основные исследования по применению защитных покрытий для борьбы с органическими отложениями были проведены более 40 лет назад, появление новых систем и классов защитных покрытий, обеспечивающих эффективную защиту от коррозии, а также отсутствие сведений об интенсивности формирования органических отложений на новых системах покрытий, необходимо проведение исследований по оценке интенсивности формирования органических отложений на поверхности защитных покрытий для повышения эффективности их использования. Показано, что на поздней стадии разработки нефтяных месторождений расширение возможностей использования защитных покрытий с целью комплексного решения ряда проблем нефтедобычи, включая обеспечение защиты от коррозии, уменьшение гидравлических сопротивлений, улучшение теплового режима работы скважин, предотвращение образования органических отложений на поверхности нефтепромыслового оборудования является актуальной проблемой.

Известно, что водные растворы ПАВ являются обязательным элементом ряда технологических операций при эксплуатации и ремонте скважин. Определение эффективности применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений является необходимым условием эффективной эксплуатации нефтяного месторождения на поздней стадии разработки. Исследования применения водных растворов ПАВ рядом ученых проводились, в основном, для разработки технологий повышения нефтеотдачи пластов, подготовки нефти, ингибирования формирования органических отложений. В связи с этим в данной работе особое внимание уделено применению водных растворов ПАВ для удаления органических отложений и систем защитных покрытий с целью повышения эффективности эксплуатации скважин на поздней стадии разработки нефтяных месторождений в условиях образования органических отложений.

На основе приведенного анализа и обобщения результатов применения методов борьбы с органическими отложениями сформулированы задачи исследований диссертационной работы.

Во **второй главе** представлены результаты теоретических, промысловых и экспериментальных исследований формирования органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования скважин. На основе анализа геолого-промысловых данных

установлено, что органические отложения формируются как на поверхностях, имеющих температуру, отличающуюся от температуры потока, так и в отсутствии температурного перепада. Зоны формирования органических отложений на поверхности штанг, фильтре насоса, нагнетательном и всасывающем клапанах насоса являются областями, в которых отсутствует перепад температур между поверхностью оборудования и потоком жидкости.

Анализ геолого-промысловой информации по ряду объектов эксплуатации ОАО «Татнефть» за 10 месяцев 2011 года показал, что доля ремонтов по причине формирования органических отложений в НКТ составляет 53,2 %, по причине образования органических отложений на поверхности штанг, на приеме насоса, в насосе – 46,8 %.

Был выполнен анализ состава и областей формирования проб органических отложений, отобранных с поверхности различных технологических элементов глубиннонасосного оборудования 82 скважин, оборудованных ШСНУ, на Сармановской, Чишминской, Ташлиярской, Алькеевской и Восточно-Сулеевской площадях Ромашкинского месторождения. Колонна штанг и штанговый глубинный насос находятся в центре нефтяного потока при эксплуатации скважин, оборудованных ШСНУ, что обуславливает формирование отложений на их поверхности в отсутствии разности температур по сравнению с нефтяным потоком. В результате анализа геолого-промысловой информации установлено, что доля скважин анализируемых площадей, в которых отмечено формирование органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования, зависит от геолого-физических условий и варьирует от 18,7 % (Восточно-Сулеевская площадь) до 56,3 % (Сармановская площадь). В результате анализа проб органических отложений, отобранных из различных областей формирования, установлено, что в составе органических отложений при условии отсутствия перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования отмечено наиболее высокое содержание парафина (максимум – 55,2 % мас.). Среднее содержание парафина в составе проб органических отложений, отобранных с поверхности штанг (отсутствие перепада температур), составляет: Сармановская площадь - 46,9 % мас., Чишминская площадь - 50,4 % мас., Ташлиярская площадь - 44,0 % мас., Алькеевская площадь - 37,7 % мас., Восточно-Сулеевская площадь - 47,4 % мас. При этом среднее содержание асфальтенов по рассматриваемым площадям

НГДУ «Джалильнефть» составляет: Сармановская площадь - 3,9 % мас., Чишминская площадь - 5,8 % мас., Ташлиярская площадь – 5,0 % мас., Алькеевская площадь - 3,4 % мас., Восточно-Сулеевская площадь - 1,7 % мас.

Таким образом, в результате проведения лабораторных исследований состава промысловых проб органических отложений, сформировавшихся в условиях отсутствия перепада температур между поверхностью оборудования и потоком жидкости, отмечено преобладание углеводородов парафинового ряда, что в значительной степени предопределяет прочность органических отложений. В целом, по рассматриваемым площадям среднее содержание парафина в составе органических отложений, сформировавшихся в условиях отсутствия перепада температур, составляет 33,2%, что на 8,7% превышает содержание парафина в составе органических отложений, сформировавшихся при наличии перепада температур между потоком жидкости и поверхностью глубиннонасосного оборудования.

Таким образом, в результате проведения экспериментальных исследований и анализа геолого-промысловой информации установлено, что наличие перепада температур не является обязательным условием для формирования органических отложений. Конкретизация условий формирования и технологических свойств органических отложений, сформировавшихся при эксплуатации скважин на поверхности глубиннонасосного оборудования при отсутствии температурного перепада, позволяет уточнить область применения технологий предупреждения и удаления органических отложений и минимизировать отрицательные последствия проблемы образования органических отложений в добыче нефти.

Сравнительный анализ интенсивности формирования органических отложений в условиях наличия и отсутствия перепада температур между поверхностью оборудования и потоком жидкости проводился на основе результатов экспериментальных исследований, выполненных с использованием метода «холодного стержня» и авторской методики (рисунок 1).

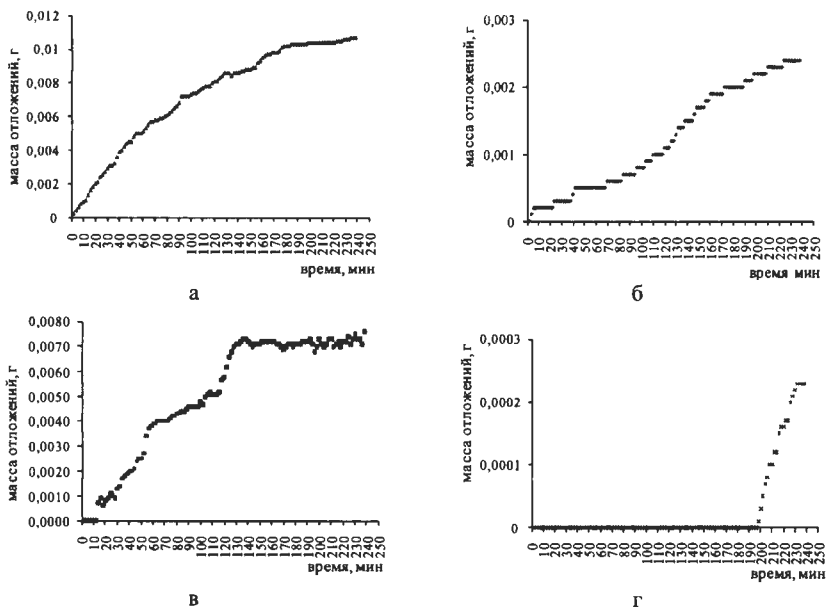


Рисунок 1 - Зависимость интенсивности формирования органических отложений в отсутствии перепада температур между модельной средой и металлической поверхностью от времени: а – при 25 °С; б – при 30 °С; в – при 35 °С; г – при 40 °С

Исследования интенсивности формирования органических отложений при наличии перепада температур между поверхностью оборудования и жидкостью, выполненные по методу «холодного стержня», проводились в широком диапазоне температур. При этом интервал температур модельной среды составлял от 30°С до 45°С, а интервал температур на поверхности «холодного стержня» - от 5°С до 45°С. В качестве модельной жидкости использовался раствор керосина, содержащий 3,2 % гудрона и 2,8 % парафина. Результаты проведенных исследований интенсивности формирования органических отложений при наличии перепада температур между поверхностью оборудования и жидкостью показали, что перепад температур между поверхностью и средой не является обязательным условием формирования органических отложений на поверхности.

В результате проведения исследований интенсивности формирования органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между металлической поверхностью и жидкостью (рисунок 1) установлена различная динамика формирования

органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между поверхностью и модельной средой. Максимальная интенсивность формирования отложений в условиях отсутствия перепада температур между поверхностью и модельной средой была отмечена при температуре 25 °С и составила $4,3 \cdot 10^{-5}$ г/мин.

Механизм формирования органических отложений в условиях отсутствия перепада температур между нефтяным потоком и поверхностью глубиннонасосного оборудования скважин может быть представлен следующим образом. Органические отложения, представляющие собой новую фазу, могут формироваться в лабильных или метастабильных системах. Наличие метастабильных состояний связано с энергетическими препятствиями образованию новой фазы. Основным фактором, определяющим метастабильное состояние, является пересыщение раствора данной фазой. Практически во всех случаях для формирования новой фазы требуется создать значительное пересыщение, ведь новая фаза микроскопических размеров должна первоначально сформироваться из микроскопических зародышей, поверхность которых сильно искривлена. Для начала процесса образования новой фазы необходимо появление за счет какого-либо механизма зародышей новой фазы, причем образование очень малых зародышей может идти самопроизвольно. При хорошем смачивании поверхности возникновение новой фазы может происходить при малых пересыщениях. При этом работа образования зародыша на подложке меньше работы его образования в объеме, если краевой угол отличен от 180°. Отсюда следует важный вывод о том, что природа поверхности оказывает существенное влияние на формирование органических отложений при отсутствии перепада температур между поверхностью и потоком жидкости.

С технологической точки зрения является важным определение адгезионных свойств отложений, формирующихся как в условиях наличия, так и в условиях отсутствия перепада температур (на поверхностях штанг и НКТ соответственно). Исследование адгезионных свойств органических отложений проводилось в лабораторных условиях для отложений, сформированных при температурах модельной среды 30, 35, 40 и 45 °С в условиях наличия и отсутствия перепада температур, величина которого варьировала от 0 до 25 °С с шагом 5°С. Оценка адгезионной прочности отложений была выполнена на основе определения времени отмыва отложений, сформировавшихся в условиях наличия и отсутствия перепада температур (рисунок 2).

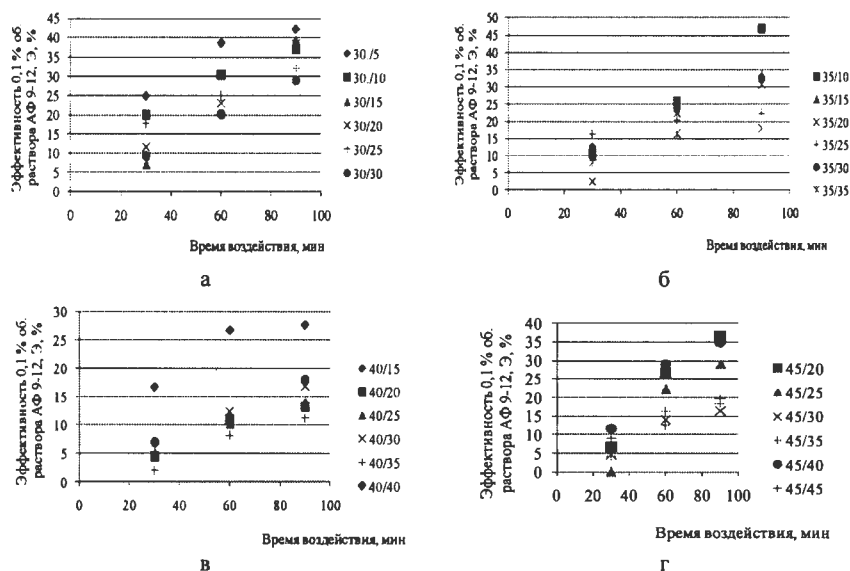


Рисунок 2 - Результаты определения эффективности удаления сформировавшихся органических отложений водным раствором ПАВ АФ₉-12 0,1 % об. конц. при температуре модельной среды: а - 30 °С; б - 35 °С; в - 40 °С; г - 45 °С; 30/5 – температура модельной среды / температура поверхности «холодного стержня»

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что органические отложения, сформированные в условиях максимального перепада температур, характеризуются минимальной адгезионной прочностью, которая может быть охарактеризована эффективностью удаления органических отложений с поверхности (максимальная эффективность удаления составила 46,5 %). При этом для органических отложений, сформированных в отсутствии перепада температур, эффективность удаления составила от 18,1 % (при температуре формирования 45 °С) до 29,1 % (при температуре формирования 30 °С). В качестве показателя изменения консистенции отложений при проникновении водного раствора ПАВ в структуру отложений был использован метод пенетрации. Для органических отложений, формирующихся в условиях отсутствия температурного перепада, диапазон изменения пенетрации исследованных проб составляет от 32 ед. (поверхность штанг, глубина 700 м) до 63 ед. (поверхность штанг, глубина 0-10 м); для органических отложений, формирующихся при наличии перепада температур на поверхности НКТ, – от 39 ед. (глубина 0-10 м) до 70 ед. (глубина 700 м).

Полученные результаты позволили сделать заключение о том, что органические отложения, формирующиеся на поверхности глубиннонасосного оборудования в условиях отсутствия температурного перепада, имеют повышенную адгезию к поверхности и значительно отличаются по механической прочности.

Таким образом, в результате проведения теоретических и экспериментальных исследований показано, что начало процесса образования новой фазы может идти самопроизвольно в пересыщенном потоке, а природа поверхности оказывает существенное влияние на формирование органических отложений при отсутствии перепада температур между поверхностью и потоком жидкости.

В третьей главе обоснована необходимость и представлены результаты разработки методики оценки эффективности удаления органических отложений, учитывающей их структуру и свойства контактирующей поверхности.

В настоящее время известно достаточное большое количество методик определения эффективности составов для удаления органических отложений, основанных на определении изменения массы навески органических отложений, находящейся в среде удалителя в динамических условиях, по отношению к его массе до воздействия. Необходимо отметить, что использование этих методик приводит к погрешностям исследований, появление которых обусловлено следующими причинами:

1. Применяемые методики предусматривают выполнение пробоподготовки: смятие, нагревание или расплавление исходного образца органических отложений. При смятии происходит уплотнение структуры органических отложений в зависимости от силы надавливания, что является субъективным фактором. Нагрев или расплавление образца приводит к изменению структуры органических отложений, и, как следствие, к изменению растворимости.

2. Не учитывается наличие поверхности формирования: в реальных условиях удаления органических отложений с поверхности нефтяного оборудования не всегда наблюдается процесс перехода отложений в фазу состава для удаления только с его поверхности. Возможны случаи диспергирования отложения, а также «вытеснения» его с поверхности оборудования.

3. «Визуальный» анализ динамики разрушения органических отложений в процессе проведения исследований.

Результаты экспериментальных исследований влияния пробоподготовки на оценку эффективности ПАВ АФ₉-12 (концентрация 0,1 % об.) для удаления органических отложений, отобранных со скважин НГДУ «Альметьевнефть», приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований влияния условий формирования образцов органических отложений на эффективность их удаления

Образец	Пене-тра-ция, ед.	Изменение массы образца отложений через, мин								
		10	20	30	40	50	60	70	80	90
№ 1 (скв. № 3165)	Отложения с нативной структурой									
	19	0,039	0,045	0,049	0,054	0,058	0,062	0,065	0,067	0,068
	Отложения после смятия									
	15	0,007	0,009	0,011	0,012	0,012	0,012	0,013	0,016	0,017
	Отложения после плавления									
	6	0,001	0,002	0,002	0,005	0,007	0,012	0,014	0,016	0,017
№ 2 (скв. № 3080)	Отложения с нативной структурой									
	51	0,043	0,043	0,059	0,065	0,067	0,078	0,079	0,082	0,098
	Отложения после смятия									
	32	0,006	0,008	0,01	0,01	0,01	0,01	0,013	0,014	0,014
	Отложения после плавления									
	15	0	0	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,006

Очевидно, что наиболее значительное влияние на изменение результатов исследования эффективности удаления органических отложений оказывает предварительное плавление образцов (максимальное изменение – на 92%), после механического воздействия наблюдается изменение результатов исследований на 84%. На основе проведения экспериментальных исследований установлено существенное различие полученных результатов при исследовании эффективности составов для удаления образцов органических отложений в зависимости от вида их подготовки.

Результаты выполненных исследований положены в основу методики оценки эффективности составов для удаления органических отложений с учетом структуры отложений. Разработаны лабораторная установка и методика оценки эффективности удалителей органических отложений с учетом недостатков существующих методик, определены и обоснованы параметры проведения эксперимента. Разработка методики и её оценка осуществлялась в соответствии со стандартами ГОСТ Р 8.563-96 «Мето-

дики выполнения измерений», ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».

Предложенный способ оценки эффективности составов для удаления органических отложений включает следующие этапы. Осуществляется отбор образцов органических отложений из скважины. Далее проводится измерение массы подготовленных образцов поверхности (металлическая пластинка размером 50×30×2 мм, с покрытием и без покрытия, с различной степенью шероховатости). Затем образец поверхности нагревается до 80 °С, на него приплавляется образец пробы органических отложений, отобранный с максимальной осторожностью для сохранения структуры. При нанесении образца отложений на нагретую металлическую пластинку происходит сцепление отложений с поверхностью за счет разницы температур исследуемого образца и металла. Таким образом, обеспечивается прочное закрепление образца на поверхности и исключается погрешность определения, связанная с уплотнением структуры органических отложений в процессе формирования образца. Лабораторная установка состоит из аналитических весов GR-200 с точностью ±0,0001 г. и термостата LT-200 для поддержания постоянной температуры. Термостат также оборудован специальным термоизолированным подводящим контуром. Во избежание влияния окружающей среды установка снабжена защитным кожухом. Особенностью данной методики является непрерывный замер изменения массы отложений, сохранение структуры отложений, что предопределяет более точное определение и оценку эффективности удаления отложений.

Эффективность удаления органических отложений \mathcal{E} определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \% \quad (1)$$

где m_1, m_2 – масса отложений до и после исследования, соответственно, г.

За результат анализа $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ принимали среднее арифметическое значение результатов двух параллельных определений \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 .

Использование разработанного способа оценки позволит выполнять исследование эффективности удаления органических отложений на основе учета влияния не только состава отложений, но и структуры отложений и её изменения, а также выполнить анализ динамики удаления. Способ, положенный в основу методики, защищен патентом РФ № 2429344.

В четвертой главе исследована эффективность применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений с поверхностей различной природы.

Определение условий и анализ эффективности применения водных растворов ПАВ является актуальной задачей, так как технологические операции с применением водных растворов ПАВ являются обязательными элементами значительного количества технологий эксплуатации и ремонта скважин. Несмотря на это, механизм действия водных растворов ПАВ и определение оптимальных условий их применения в процессах проведения промывок скважин для удаления органических отложений исследовался недостаточно полно.

На основе анализа геолого-промысловой информации проведена оценка использования водных растворов ПАВ на промысловых объектах ОАО «Татнефть» (рисунок 3). За 2008-2010 гг. на осложненном фонде скважин НГДУ «Джалильнефть» успешность проведения промывок водными растворами ПАВ на скважинах, оборудованных УШГН, составила, в среднем, 52,4% (2008 г.), 47,1% (2009 г.) и 51,8% (2010 г.).

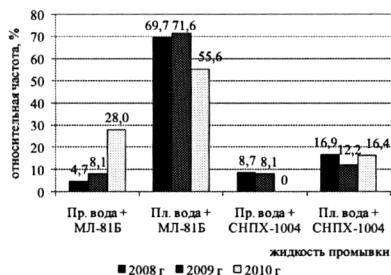


Рисунок 3 - Распределение по типам применяемых жидкостей промывки при выполнении ремонтных работ на скважинах НГДУ «Джалильнефть»

Недостаточно высокая успешность применения раствора МЛ-81В для промывок скважин предопределила дальнейшее направление исследований – оценку факторов, влияющих на эффективность проведения операций по удалению органических отложений, и определение оптимальных концентраций промывочных растворов.

На основе разработанной методики оценки эффективности составов для удаления органических отложений и сконструированной лабораторной установки с использованием проб органических отложений, отобранных с различных элементов глубиннонасосного оборудования скважин Восточно-Сулеевской площади Ромашкинского месторождения (НКТ в интервале: 0-10 м, 700 м, 1266 м; насосных штанг на глубине: 0-10 м, 700 м –

образцы №№1-5 соответственно), определена эффективность водных растворов ПАВ – МЛ-81Б, АФ₉-6 и АФ₉-12, – широко применяющихся на промыслах ОАО «Татнефть», при концентрациях 0,1 – 1 % об. с шагом 0,1 %. Установлено, что в результате контакта органических отложений с водным раствором МЛ-81Б в динамическом режиме наибольшая эффективность составила 3,4 %. Отмечено, что максимальная эффективность удаления органических отложений составляет 54,6 % для 0,1 % раствора АФ₉-12 в течение 90 минут, 54,2 % для 0,1 % раствора АФ₉-6 в течение того же временного промежутка. Результаты проведенных исследований оценки эффективности использования водного раствора ПАВ АФ₉-12 для удаления органических отложений показаны на рисунке 4.

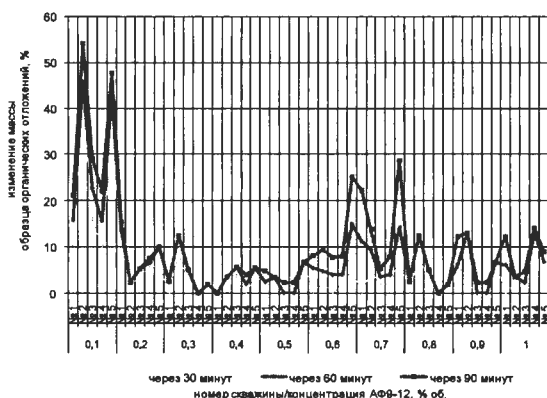


Рисунок 4 - Результаты определения эффективности удаления органических отложений водным раствором АФ₉-12 в динамических условиях

Отмечен значительный разброс величины потери массы в зависимости от пробы отложений. Максимальная потеря массы образца соответствовала максимальной длительности контакта раствора ПАВ и образца отложений. Дальнейшее увеличение концентрации реагентов в растворе не привело к значительному увеличению эффективности разрушения отложений.

На основе проведения однофакторного непараметрического анализа результатов экспериментальных исследований с использованием критерия Краскела-Уоллеса установлено, что на эффективность удаления органических отложений оказывает влияние увеличение времени контакта отложений с рассматриваемыми водными растворами ПАВ вне зависимости от их концентрации.

Проведены исследования по выявлению факторов, оказывающих влияние на эффективность удаления органических отложений водными растворами ПАВ (АФ₉-12, АФ₉-6 и МЛ-81Б 0,1 % об. концентрации) с поверхности различных типов защитных покрытий Scotchkote 134, Scotchkote 6171, Scotchkote 6258+ТК8007 и Б-ЭП-610 в интервале температур 32-70 °С при статическом и динамическом режимах. Исследована эффективность применения водных растворов ПАВ АФ₉-12, АФ₉-6, МЛ-81Б 0,1 % об. конц. для удаления органических отложений с поверхностей с полимерными покрытиями при температуре 70 °С (рисунок 5).

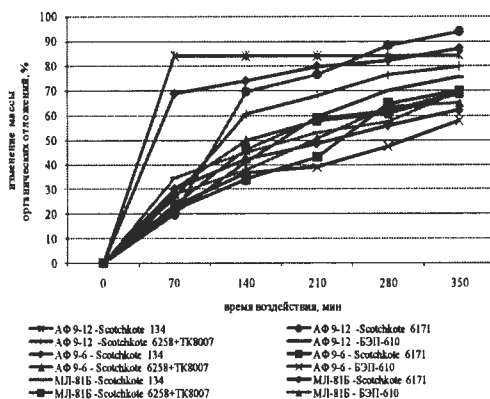


Рисунок 5 - Динамика изменения массы органических отложений, сформированных на поверхности различных покрытий, в результате воздействия водных растворов ПАВ АФ₉-12, АФ₉-6, МЛ-81Б при температуре 70 °С

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что природа поверхности оказывает существенное влияние на эффективность удаления органических отложений. При прочих равных условиях наибольшее влияние оказывает изменение температуры промывочной жидкости. Так, эффективность удаления для одного и того же типа покрытий при температуре 70 °С превышает эффективность удаления при более низкой температуре (32 °С), в среднем, на 21-36%.

Наиболее интенсивное удаление органических отложений происходит при температуре, близкой к температуре плавления отложений, - 70 °С: максимальное значение (94 %) получено при использовании водного раствора АФ₉-12 и защитного покрытия типа Scotchkote 6171. Отмечено также, что увеличение времени воздействия положительно сказывается на эффективности удаления отложений.

Учитывая результаты проведенных исследований по определению степени эффективности удаления органических отложений при использовании водных растворов ПАВ с металлических поверхностей и с поверхностями с защитными покрытиями, можно отметить, что эффективность удаления отложений увеличивается, в среднем, на 40 % при комплексном применении ПАВ и защитных покрытий.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. На основе теоретических исследований, анализа геолого-промысловой информации и экспериментальных исследований установлена необходимость применения методов предупреждения и удаления органических отложений, обеспечивающих комплексное решение проблем эксплуатации скважин на поздней стадии разработки нефтяных месторождений.

2. В результате проведения экспериментальных исследований и анализа геолого-промысловой информации установлено, что наличие перепада температур между потоком жидкости поверхностью глубиннонасосного оборудования скважин не является обязательным условием формирования органических отложений. На основе анализа состава более 80 промысловых проб органических отложений, сформировавшихся на поверхности глубиннонасосного оборудования скважин в условиях наличия и отсутствия перепада температур, установлено, что среднее содержание парафина при формировании органических отложений в отсутствии перепада температур превышает на 8,7 % содержание парафина в составе проб органических отложений, сформировавшихся при наличии перепада температур. При проведении экспериментальных исследований в условиях отсутствия и наличия перепада температур (от 0 до 25 °С) установлено, что органические отложения, сформированные в условиях отсутствия перепада температур, характеризуются повышенной адгезией к поверхности (в среднем, на 28 %) и значительно отличаются по механической прочности.

3. Разработана и защищена патентом РФ на изобретение методика (пат.2429344), позволяющая определить эффективность применения составов для удаления органических отложений на основе учета их структуры. Показана возможность использования разработанной методики с целью выбора составов для удаления органических отложений при проведении и проектировании технологических операций эксплуатации и ремонта скважин.

4. Исследована эффективность применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений, сформировавшихся в условиях наличия и отсутствия перепада температур между потоком жидкости и поверхностью скважинного оборудования. Обоснованы оптимальные концентрации исследованных составов для удаления органических отложений. Отмечено, что максимальная эффективность удаления органических отложений составляет 54,6 % для 0,1 % раствора АФ₉-12. В результате проведения однофакторного непараметрического анализа на основе критерия Краскела-Уоллеса установлена зависимость эффективности удаления органических отложений от увеличения времени контакта отложений с рассматриваемыми водными растворами ПАВ вне зависимости от их концентрации.

5. Получены эмпирические зависимости эффективности удаления органических отложений от времени воздействия и температуры. Установлено, что природа поверхности оказывает существенное влияние на эффективность удаления органических отложений. Дана научно обоснованная количественная оценка влияния термодинамических факторов на эффективность удаления органических отложений различной структуры с поверхности систем защитных покрытий. Независимо от типа промывочной жидкости скорость удаления органических отложений с поверхности защитных покрытий увеличивается, в среднем, на 40 % в зависимости от типа покрытия. На основе проведения многофакторного дисперсионного анализа результатов исследований установлено существенное влияние температуры промывочной жидкости на эффективность удаления органических отложений с поверхности систем защитных покрытий. Показано, что увеличение температуры промывочного состава от 32 °С до 70 °С обуславливает повышение эффективности удаления органических отложений в зависимости от вида покрытия на 21-36%. Максимальная эффективность удаления органических отложений (94 %) получена при использовании водного раствора АФ₉-12 и защитного покрытия Scotchkote 6171. Отмечено также, что увеличение времени воздействия положительно сказывается на эффективности удаления отложений.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Гильманова, Д.Р. О формировании асфальто-смоло-парафиновых отложений (АСПО) в различных технологических элементах нефтедобывающей системы [Текст]

/ И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова, В.П. Тронов // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 86-87.

2. Гильманова, Д.Р. О проблеме использования скребков и скребков-центраторов на скважинах, осложненных формированием асфальтосмолопарафиновых отложений [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Нефтепромысловое дело. – 2010. – № 6. – С. 53-56.

3. Гильманова, Д.Р. Исследование особенностей применения поверхностно-активных веществ для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Нефтепромысловое дело. – 2011. – № 2. – С. 53-56.

4. Патент РФ № 2429344 RU, МПК51E21B43/22 Способ оценки эффективности растворителей органических отложений // Н.Г. Ибрагимов, И.А. Гуськова, Р. И. Шафигуллин, Д.Р. Гильманова, А.И. Павлова, С.Е. Емельянычева, Е.Ф. Захарова, М.В. Швецов. – Опубл.20.09.2011.

5. Гильманова, Д.Р. О применении методов борьбы с АСПО в ОАО «Татнефть» [Текст] / Д.Р. Гильманова // «Севергеозкотех-2009»: Материалы X Международной научной конференции. Ухта: Ухтинский государственный технический университет. – 2009. – С. 239-242.

6. Гильманова, Д.Р. Исследование эффективности разрушения органических отложений водорастворимыми композициями ПАВ [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Ашировские чтения: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. Том I. – Самара: Самарский государственный технический университет. – 2010. – С. 148-151.

7. Гильманова, Д.Р. Методика оценки эффективности применения защитных покрытий при добыче парафинистых нефтей [Текст] / Д.Р. Гильманова, С.Е. Емельянычева, А.И. Павлова // Проблемы интенсификации добычи нефти и капитального ремонта скважин: Сб. научных статей. – Самара: Самарский государственный технический университет. – 2010. – С. 8-11.

8. Гильманова, Д.Р. Анализ эффективности применения покрытия ПЭП-585 для системы промысловых трубопроводов ОАО «Татнефть» [Текст] / И.А. Гуськова, М.Н. Никитин, Д.Р. Гильманова // «Трубопроводный транспорт-2008»: Материалы IV Международной учебно-научно-практической конференции. Уфа: УГНТУ. – 2008. – С. 270-273.

9. Гильманова, Д.Р. О возможности использования промывочных технологических жидкостей на водной основе для удаления АСПО [Текст] // И.А. Гуськова, Р.Р.

Чекмаева, Д.Р. Гильманова // «Инновационные технологии в геологии и разработке углеводородов»: Материалы Международных научно-практической и научно-технической конференций. – Казань: НПО «Репер». – 2009. – С. 102-107.

10. Гильманова, Д.Р. Оценка эффективности некоторых методов, применяемых для удаления АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // «Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России»: Тезисы докладов VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2010. – С. 111-112.

11. Гильманова, Д.Р. О применении механических методов борьбы с АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // «Промышленная экология и безопасность»: Материалы III научной конференции. – Казань: «ФЭН». – 2008. – С. 52-53.

12. Гильманова, Д.Р. Повышение эффективности применения механических методов борьбы с органическими отложениями [Текст] / Д.Р. Гильманова, С.Е. Емельянычева, А.И. Павлова // «Геология, разработка нефтяных и газовых месторождений»: Сборник тезисов докладов семинара молодых специалистов. – Казань: Изд-во «Ихлас». – 2011. – С. 63-66.

13. Гильманова, Д.Р. Влияние некоторых факторов на область формирования АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том VIII. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2010. – С. 50-53.

14. Гильманова, Д.Р. Влияние системы заводнения на условия формирования АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том VII. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2009. – С. 57-64.

15. Гильманова, Д.Р. Обоснование технологических параметров применения растворителей для удаления органических отложений в условиях скважин [Текст] / И.А. Гуськова, С.Е. Емельянычева, Д.Р. Гильманова, А.И. Павлова // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том IX. – Альметьевск: АГНИ. – 2011. – С. 48-51.

16. Гильманова, Д.Р. О применении системной классификации методов борьбы с органическими отложениями [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова, С.Е. Емелья-

нычева // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. Том IX. – Альметьевск: АГНИ. – 2011. – С. 90-95.

17. Гильманова, Д.Р. Лабораторные исследования эффективности применения водных растворов ПАВ для удаления органических отложений [Текст] / Д.Р. Гильманова // Материалы научной сессии ученых АГНИ по итогам 2010 года. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2011. – С. 50-54.

18. Гильманова, Д.Р. О некоторых аспектах условий формирования АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Материалы научной сессии ученых АГНИ по итогам 2008 года. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2009. – С. 29-30.

19. Гильманова, Д.Р. О применении технологии промывки нефтедобывающих скважин, осложненных формированием АСПО, мощными средствами [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Материалы научной сессии ученых АГНИ по итогам 2009 года. - Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2010. – С. 40-43.

20. Гильманова, Д.Р. О применении химических методов борьбы с АСПО [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Материалы научной сессии ученых АГНИ по итогам 2008 года. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2009. – С. 26-28.

21. Гильманова, Д.Р. Результаты оценки эффективности применения методов удаления органических отложений [Текст] / И.А. Гуськова, Д.Р. Гильманова // Материалы научной сессии ученых АГНИ по итогам 2010 года. - Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2011. – С. 47-50.

142

Отпечатано в секторе оперативной полиграфии
института «ТатНИПнефть» ОАО «Татнефть»

на Ricoh Aficio 3045

тел.: (85594) 78-656, 78-565

Подписано в печать 29.12.2011 г.

Заказ №29121101 Тираж 100 экз.